

*Antoni Tadeusz Miler, Andrzej Czerniak, Sylwester Grajewski,  
Bogusław Kamiński, Bernard Okoński*

**MOKRADŁA LEŚNEGO KOMPLEKSU PROMOCYJNEGO  
LASY RYCHTALSKIE  
– STAN OBECNY I PERSPEKTYWA ZMIAN**

---

***MARSHLANDS OF THE FOREST PROMOTION COMPLEX  
„LASY RYCHTALSKIE”  
– PRESENT STATE AND PERSPECTIVE OF CHANGES***

**Streszczenie**

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników kilkuletnich kompleksowych badań terenowych (hydrologicznych, chemicznych i geotechnicznych) na obszarach mokradłowych Leśnego Kompleksu Promocyjnego (LKP) Lasy Rychtałskie w celu charakterystyki stanu obecnego, prognozy zmian oraz wskazania zagrożeń stabilności tych obszarów.

Leśne Kompleksy Promocyjne są obszarami funkcjonalnymi w szczególności o znaczeniu ekologicznym, edukacyjnym i społecznym. LKP „Lasy Rychtałskie” swoją nazwę przyjął od lasów położonych na terenie obrębu Rychtal Nadleśnictwa Syców. Lasy tego obrębu słyną z ekotypu sosny zwyczajnej, o niepowtarzalnych walorach genetycznych, potwierdzonych w badaniach naukowych.

Badania terenowe prowadzono na terenach mokradłowych LKP Lasy Rychtałskie. Do badań szczegółowych wybrano 3 powierzchnie doświadczalne, mikro-zlewnie oraz 6 transektów poprzecznych do dróg leśnych położonych albo w ramach ww. zlewni, albo w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Wytypowane mikro-zlewnie są tak usytuowane, iż leżą w całości na terenach mokradłowych. Na powierzchniach doświadczalnych zainstalowano 51 studzienek do pomiarów wód gruntowych oraz 3 przelewy Thomсона na ciekach. Ze wszystkich odwiertów pobrano próbki gleb do standardowych badań laboratoryjnych własności mechanicznych, fizycznych i chemicznych oraz fizyko-wodnych.

Obszary mokradłowe w tym kompleksie charakteryzują się bardzo dużymi zdolnościami retencyjnymi. Odpływ roczny jest stosunkowo niewielki, ok. 4% sumy opadów rocznych i występuje tylko w półroczu zimowym i w maju. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że model Nasha daje zadowalające wyniki symulowania odpływu ze zlewni w leśnych terenach mokradłowych. Obliczanie opadu efektywnego modelem SCS-CN ma ograniczone zastosowanie dla obszarów mokradłowych. Wody gruntowe zalegają płytko ok. 1 m p.p.t. Prognozę zmian stosunków wodnych na badanych terenach wyrażającą się zmianami stanów wód gruntowych oparto na ujemnym rocznym trendzie opadów atmosferycznych. Założono, że istotne zmiany w ekosystemach mokradłowych będą zachodzić, gdy średni poziom wód gruntowych spadnie o co najmniej 50% obecnego stanu. Można szacować, że nastąpi to po ok. 100 latach. Działając pragmatycznie, należałoby dążyć do całkowitego zatrzymania odpływającej z tych terenów wody. W pracy przedstawiono łatwą w zastosowaniu metodę oceny obszarów leśnych pod względem potencjalnych zdolności retencyjnych. Bazuje ona m.in. na standardowych danych zgromadzonych w bazach tworzonych w trakcie prac urządzeniowych w lasach.

Przeprowadzone badania chemiczne nie wykazały nadmiernej kumulacji zanieczyszczeń chemicznych w glebie oraz w wodach powierzchniowych i gruntowych LKP Lasy Rychtałskie.

Drogi z nawierzchnią gruntową na podłożu bagiennym w okresie całego roku nie spełniały warunków nośności stawianych drogom leśnym. Nośność nawierzchni twardych nieulepszonych zależała od poziomu lustra wód gruntowych w podłożu.

**Słowa kluczowe:** leśne tereny mokradłowe, infrastruktura techniczna

### **Summary**

*The aim of the paper is to illustrate the results of the long-term research performed on swamp areas of the Forest Promotional Complex (FPC) "Lasy Rychtałskie". The research project comprehended hydrological, chemical and geotechnical field studies performed on forest swamp areas to assess current state conditions of forest management and forest ecosystems, predict changes and identify the threats to ecosystem stability.*

*The Forest Promotion Complexes are a functional areas in peculiarities about to ecological meaning, educational and social. The own name FPC "Lasy Rychtałskie" is accepted from a situated forests on precinct Rychtal of Forest Inspectorate Syców. This forests of precinct are celebrated from ekotype ordinary pine, about unrepeatable genetic values, confirmed in scientific investigations.*

*The study covered forest swamp areas of the FPC "Lasy Rychtałskie". To detailed investigations are selected three experimental areas, microcatchments and 6 transects transverse to forest roads situated or in frames above mentioned areas or in their immediate nearness. Chosen microcatchments are situated, that lie in wholes on marshland areas. On experimental areas are installed 51 of wells to measurements of ground water levels and 3 Thomson overflows on rivers. From all of bore-holes were received samples of soils to standard researches in laboratory – mechanical, physical, chemical and water properties.*

*The area has high retention potential. Surface outflow is relatively low ca 4% of annual precipitation and occurs in the winter half-year extending into May.*

*The study justifies the conclusion that the linear reservoir model returns the adequate outcome of runoff simulation for catchments located in forest swamp areas. The groundwater level is shallow in investigated sites at ca 1m b.g.s. The prognosis of groundwater level changes expressed by groundwater level dynamics was created on the basis of negative annual rainfall trend. The projection was calculated on assumption that significant changes in forest swamp ecosystems would occur provided that average groundwater depth level decrease by 50% of the actual groundwater level depth. The reduction of groundwater level depth as the outcome of this scenario can be expected in 100-year period. The reasonable water management preventive measures against negative effects of hydrological processes stimulating groundwater level depth decrease on forest swamp ecosystems is stopping of the outflow from the area. The study included a task of developing and implementation easy-to-use method of potential water storage assessment for forest areas. The method bases on utilization of data stored in databases typically prepared for the forest inventory purposes.*

*The chemical analysis of investigated sites of FPC "Lasy Rychtalskie" as far as surface and groundwater is concerned has not returned the results justifying the conclusion that the concentration of pollutant compounds is higher than the natural concentration of these compounds.*

*The dirt roads located on swampy soils through entire annual period did not meet the bearing strength standards required for the forest communication network. The bearing strength of paved roads depended on local dynamics of groundwater level.*

**Key words:** forest swamps areas, technical infrastructure

## WSTĘP

W skład Leśnego Kompleksu Promocyjnego (LKP) Lasy Rychtalskie (o powierzchni ok. 48 tys. ha, powołanego w 1996 roku) wchodzi lasy dwóch nadleśnictw Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych (RDLP) w Poznaniu: Antonin i Syców oraz lasy Leśnego Zakładu Doświadczalnego (LZD) w Siemianicach. Według regionalizacji przyrodniczo-leśnej [Tramplera i in. 1990] LKP Lasy Rychtalskie położony jest w Krainie III Wielkopolsko-Pomorskiej, Dzielnicy 9 Kotliny Żmigrodzko-Grabowskiej oraz w Krainie V Śląskiej, Dzielnicy 2 Wrocławskiej.

Pod pojęciem mokradła leśne określane są ekosystemy leśne, nadmiernie uwilgotnione, do których należy wstępnie zaliczyć te tereny, które w opisach taksacyjnych zakwalifikowano jako: Bb, BMb, LMb, Ol, OIJ i Lł. Ostatecznie o zakwalifikowaniu danej powierzchni do mokradeł można zdecydować dopiero po wizji w terenie. Powyższe siedliska wilgotne, znajdujące się pod bezpośrednim wpływem wody gruntowej zajmują odpowiednio: Antonin 1,2%, tj. 239 ha, Syców 1,0%, tj. 221 ha, oraz Siemianice 6,3%, tj. 375 ha powierzchni leśnej [Miler i in. 2005].

Niektóre znane światowe ośrodki badawcze sugerują, że w wodach i glebach organicznych obszarów mokradłowych mogła zachodzić przez wiele lat

intensywna akumulacja zanieczyszczeń chemicznych np. pierwiastków śladowych i dioksyn generowanych przez ośrodki przemysłowe. Stwierdzono np., że zawartość ołowiu, kadmu, niklu i cynku w bagnach na terenie Anglii wielokrotnie przekracza poziom uznawany za bezpieczny dla środowiska. Pierwiastkami śladowymi mogą być skażone również podmokłe tereny Eurazji i Ameryki Północnej. Brytyjscy naukowcy ostrzegają, że zachodzące zmiany klimatyczne mogą spowodować osuszenie terenów mokradłowych i uwolnienie z nich w skutek erozji wodnej i eolicznej dużych ilości toksycznych związków.

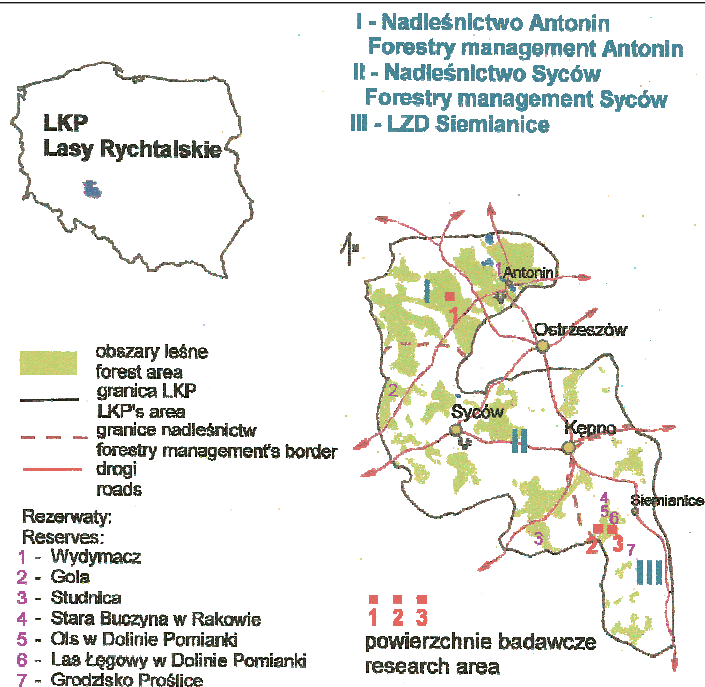
Na terenach Polski obszary leśne należą do ekosystemów najmniej przekształcanych i zanieczyszczanych przez człowieka. W świetle prognozowanych zagrożeń wynikających z uwalniania zanieczyszczeń chemicznych z podlegających osuszaniu się terenów bagiennych, przeprowadzono szeroki zakres badań chemicznych wód, gleb i drzewiastych bioindykatorów roślinnych terenów mokradłowych LKP Lasy Rychtałskie.

Istotnym elementem infrastruktury technicznej terenów mokradłowych jest sieć drogowa. Gęstość oraz stan techniczny dróg leśnych w znacznym stopniu warunkują prawidłowe funkcjonowanie gospodarstwa leśnego. Trwałość nawierzchni drogowych zależy przede wszystkim od rodzaju podłoża gruntowego. Grunty bagiennie mineralne, a szczególnie organiczne cechują się niską nośnością, która najbardziej obniża się w okresach wysokich poziomów wód gruntowych. Około 79% dróg leśnych ma nawierzchnie gruntowe, które w okresach podwyższonej wilgotności stają się nieprzejezdne. Stąd zagadnienia dotyczące poprawy stanu dróg na leśnych terenach zabagnionych stanowią poważny problem.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników kilkuletnich kompleksowych badań terenowych (hydrologicznych, chemicznych i geotechnicznych) na obszarach mokradłowych LKP Lasy Rychtałskie w celu charakterystyki stanu obecnego, prognozy zmian oraz wskazania zagrożeń stabilności tych obszarów.

## MATERIAŁY I METODY

**Charakterystyka powierzchni doświadczalnych i ogólny zakres badań.** Do szczegółowych badań wytypowano trzy powierzchnie doświadczalne – mikrozełwnie (o powierzchniach: 8,58; 30,61 i 32,00 ha), które leżą prawie w całości, oprócz małych fragmentów w strefach wododziałowych, na leśnych terenach mokradłowych (rys. 1). Stanowi to istotę założonego doświadczenia, bowiem chodzi o oszacowanie odpływu właśnie z owych terenów nadmiernie uwilgotnionych.



**Rysunek 1.** Położenie Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtałskie i powierzchni badawczych

**Figure 1.** Location of The Promotion Forest Complex “Lasy Rychtałskie” and research areas

W 2004 roku rozpoczęto badania terenowe obejmujące m.in. limnigraficzne pomiary stanów wód w ciekach na przelewach Thomsona, cotygodniowe pomiary stanów wód gruntowych, pobieranie próbek wód powierzchniowych, gruntowych i gleby do oznaczeń chemicznych (wykonywane dwa razy w roku) oraz badanie nośności nawierzchni dróg aparatem VSS (wykonywane okresowo). Dane meteorologiczne uzyskano ze stacji w Siemianicach.

Prognozę zmian stosunków wodnych na tych terenach oparto na trendach czasowych: średnich rocznych temperatur powietrza oraz sum rocznych opadów atmosferycznych. Do modelowania odpływów wezbraniowych z terenów mokradłowych zastosowano konceptualny model Nasha [Miler 1994], przy czym opad efektywny próbowano szacować metodą SCS-CN. Podjęto próbę waloryzacji terenów Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtałskie pod kątem potencjalnych możliwości retencjonowania wody. Prace o charakterze pilotażowym przeprowadzono dla Leśnictwa Doświadczalnego Marianka.

**Model SCS-CN.** Model SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number) jest modelem konceptualnym rozdziału opadu całkowitego w wersji oryginalnej opracowanym w latach 50. ubiegłego stulecia przez Natural Resources Conservation Service w Stanach Zjednoczonych. Model SCS-CN bazuje na założeniu, że czynniki decydujące o rozdziale opadu całkowitego na opad efektywny wywołujący wezbranie zależą od pokrycia zlewni, rodzaju gruntu oraz wilgotności początkowej przed wystąpieniem opadu skutkującego wezbraniem. Syntetycznym parametrem ujmującym te cechy jest bezwymiarowy wskaźnik *CN*. Stąd opad efektywny jest w ujęciu modelowym funkcją parametru *CN* (USDA-NRCS 1985).

Podstawowe założenia modelu, to założenie równości proporcji retencji aktualnej (*F*) do retencji maksymalnej zlewni (*S*) oraz opadu efektywnego do opadu całkowitego pomniejszonego o stratę początkową (1), założenie bilansowe stanowiące, że opad całkowity (*P*) jest sumą straty początkowej (*Ia*), infiltracji aktualnej (*F*) oraz opadu efektywnego (*Pe*) (2). Parametr *CN* jest związany zależnością empiryczną z parametrem (*S*). Dodatkowo wartość straty początkowej (*Ia*) została związana na zasadzie zależności empirycznej z wartością maksymalnej potencjalnej retencji (*S*) (3) [Mishra, Singh 2003]. Zatem:

$$\frac{F}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad (1)$$

$$P = Ia + F + Pe \quad (2)$$

$$Ia = \lambda \cdot S \quad (3)$$

Ustalono empirycznie, że  $\lambda \in [0; 0,3]$ , w oryginalnej wersji modelu przyjęto, że  $\lambda$  to 0,2 [USDA-NRCS 1985].

Po prostych przekształceniach otrzymujemy:

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \text{ dla } P > Ia \quad (4)$$

$$Pe = 0 \text{ dla } P \leq Ia \quad (5)$$

Maksymalna retencja *S* związana jest z bezwymiarowym parametrem *CN*  $\in [1; 100]$ , dla wartości *P*, *Pe*, *S* wyrażonych w milimetrach, *S* obliczana jest z zależności:

$$S = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (6)$$

Metoda SCS-CN pierwotnie opracowana została dla obszarów rolniczych. Las był rozpatrywany jako jednorodna pod względem budowy kategoria użyt-

kowania terenu [Mishra Singh 2003; Okoński 2006]. W odniesieniu do ekosystemów leśnych Polski metodykę obliczania wartości parametru  $CN$  na bazie cech środowiska leśnego zaproponował Okoński (2006). Zaproponowana modyfikacja metody wykorzystuje dane hydrometeorologiczne oraz dane dotyczące cech pokrycia terenu uzyskane z jednostki przestrzennej – zlewni lub kilku zlewni

i umożliwia obliczenie wartości parametru  $CN$  przypisanych warunkom fizyczno-geograficznym występującym w tej jednostce przestrzennej. Podstawowe równanie zmodyfikowanej metody SCS-CN umożliwiające przeliczenie wartości parametru  $CN$  według oryginalnej wersji metody na wartości parametru przypisane danej jednostce przestrzennej podano niżej:

$$CN_{emp} = \frac{100}{a \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1\right)^b + 1} \quad (7)$$

gdzie:

- $CN_{emp}$  – empiryczna wartość parametru  $CN$ ,
- $CN$  – wartość parametru według oryginalnej metody,
- $a, b$  – współczynniki empiryczne.

Wykorzystując pary odpowiadających sobie wartości parametru  $CN$ , tj. wartości parametru obliczone według metody oryginalnej ( $CN$ ) oraz obliczone dla danej zlewni na podstawie danych empirycznych ( $CN_{emp}$ ), z zależności regresyjnej oblicza się współczynniki  $a$  i  $b$  dla równania (7). Bazując na sparametryzowanym równaniu, przelicza się wartości parametrów  $CN$  według metody oryginalnej na wartości parametrów  $CN$  uwzględniające warunki odpływu z danej zlewni leśnej według zróżnicowania cech pokrycia leśnego.

**Potencjalne zdolności retencyjne.** Na zdolność retencjonowania wody na danym obszarze duży modyfikujący wpływ, poza klimatem, wywierają takie elementy fizyczno-geograficzne nieklimatyczne jak: rzeźba terenu, gleby i budowa geologiczna, sieć cieków, wody stojące oraz szata roślinna (skład gatunkowy, struktura wiekowa *etc.*) – stanowią one o potencjalnych możliwościach retencjonowania wody. Szacowanie potencjalnej zdolności retencyjnej sprowadza się do przypisania każdej elementarnej, jednorodnej powierzchni jednego parametru uwzględniającego sumaryczne oddziaływanie najbardziej istotnych parametrów fizyczno-geograficznych [Miler i in. 2001]. Jako powierzchnię elementarną zdecydowano się przyjąć pododdział, pozwala to na niemal bezpośrednio korzystanie z danych zgromadzonych w bazach tworzonych w trakcie prac urzędzeniowych w lasach [Grajewski 2006]. Każdemu z wydzieleń leśnych (pododdziałów) przyporządkowano parametry, które uznano jako determinujące jego potencjalną zdolność retencyjną: średni spadek terenu [%], wariant uwilgotnienia siedliska [-], odległość od sieci cieków [m], odległość od wód stoją-

cych [m], średnio ważony współczynnik filtracji gleb [ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ], wskaźnik zwarcia drzewostanu [-], rodzaj pokrywy glebowej [-], wiek drzewostanu [lata], typ siedliska leśnego [-], gatunek panujący w drzewostanie [-]. Następnie zakresy zmian wartości każdego z parametrów podzielono na trzy klasy odpowiadające „małej”, „średniej” oraz „dużej” zdolności retencyjnej, odpowiednio kodując je jako: 1, 2 i 3. „Małą” (kod 1) potencjalną zdolność retencyjną danego pododdziału utożsamiano z suchym wariantem uwilgotnienia siedliska, niewielkimi odległościami od sieci cieków, dużymi współczynnikami filtracji gleb, niskim wskaźnikiem zwarcia drzewostanu, nagą pokrywą gleby, drzewostanami młodymi, suchymi siedliskami borowymi oraz gatunkami liściastymi. Natomiast „dużą” (kod 3) potencjalną zdolność retencyjną danego pododdziału utożsamiano z bagiennym charakterem uwilgotnienia siedliska, dużymi odległościami od cieków, niskimi wartościami współczynnika filtracji gleb, wysokim wskaźnikiem zwarcia drzewostanu, mszystą pokrywą gleby, drzewostanami dojrzałymi, siedliskami bagiennymi i lęgowymi oraz gatunkami iglastymi. Dalej zsumowano kody wszystkich parametrów w ramach każdego z pododdziałów osobno. Otrzymano zatem dla każdego z pododdziałów odpowiednią wartość liczbową – miernik potencjalnych zdolności retencyjnych, z przedziału ( $\text{min} = 10 \div \text{max} = 30$ ). Wynika to z prostego oszacowania:  $\text{min} = 10(\text{charakterystyk}) \cdot 1(\text{min kody}) = 10$ , oraz  $\text{max} = 10(\text{charakterystyk}) \cdot 3(\text{max kody}) = 30$ . Rozkład przestrzenny powyższego miernika, w formie mapy, pozwala na wskazanie obszarów o potencjalnie „małych”, „średnich” i „dużych” potencjalnych zdolnościach retencyjnych analizowanego obszaru.

## BADANIA CHEMICZNE

W ramach prowadzonych badań chemicznych wykonano:

1. Oznaczenia głównych wskaźników zanieczyszczeń wód gruntowych, powierzchniowych oraz gleb.
2. Ocenę akumulacji metali ciężkich na podstawie rozkładu podatności magnetycznej gleb w układzie poziomym i pionowym.
3. Oznaczenia zawartości dioksyn w glebie.

Ad. 1. Metody oznaczeń głównych wskaźników chemicznych zanieczyszczeń wód gruntowych, powierzchniowych oraz gleb

- odczyn pH: PN-90/C-04540,
- ChZT<sub>Cr</sub>: PN-74/C-04578,
- azot amoniakalny: PN-C-04576,
- azot azotynowy: PN-C-04576,
- azot azotanowy: PN-C-04576,
- siarczany: PN 74/C-04566,
- chlorki: PN-75/C-04617,



- ortofosforany: PN-88/C-04537,
- Cu, Zn, Cd, Fe, Co, Cr, Ni, Pb, Mn: (ASA): PN-92/C-04570,
- sód i potas: PN-ISO-9964-3,
- wapń: PN-91/C-4551,
- magnez: PN-91/C-4562,
- twardość: PN-71/C-04554,
- przewodnictwo elektrolityczne: PN-EN 27888.

Ad. 2. Podatność magnetyczna jest łatwo mierzalną wielkością geofizyczną opisującą zdolność danej substancji do zmian namagnesowania pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Procedura pomiarów podatności magnetycznej oparta jest na zauważalnym związku pomiędzy wzrostem podatności magnetycznej a zawartością metali ciężkich w środowisku glebowym. Strzyszc i Magiera [2003] podają, że podatność magnetyczna na powierzchni gleby wynosząca od  $30 \times 10^{-5}$  do  $50 \times 10^{-5}$  może oznaczać, że ilość przynajmniej jednego z metali przekracza wartość graniczną dopuszczalną dla gleb terenów leśnych. Magnetometria jest metodą alternatywną w stosunku do kosztownych metod geochemicznych. Metoda ta jest szczególnie przydatna na obszarach leśnych, gdzie długotrwała depozycja zanieczyszczeń (w tym również cząstek magnetycznych) następuje w sposób niezakłócony zabiegami agrotechnicznymi.

Podatność magnetyczną gleb analizowano poprzez określenie rozkładu powierzchniowego i pionowego ferrimagnetyków.

Do pomiarów powierzchniowych użyto miernika podatności magnetycznej wyposażonego w angielski czujnik terenowy MS2D firmy „Bartington Instruments” zintegrowany z systemem GPS „Pathfinder” amerykańskiej firmy „Trimble”. Sprzęt pomiarowy udostępnił Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze. Wartości pomiarów określano w bezwymiarowych jednostkach podatności magnetycznej.

Pionowy rozkład podatności magnetycznej analizowano przy użyciu miernika podatności magnetycznej SM 400 produkcji czeskiej typu ZH Instruments – Brno. Pomiary wartości  $\kappa$  w układzie pionowym analizowano do głębokości 20 cm z rozdzielczością 0,2 mm. Pobierano również rdzenie glebowe sondą Huga.

Ad. 3. Dioksyny powstają jako niepożądany produkt uboczny w trakcie niektórych procesów przemysłowych, procesów spalania lub na skutek awarii. Podstawowym źródłem emisji do środowiska są odpady przemysłowe, herbicydy, pestycydy, oleje transformatorowe. Dioksyny powstają też w wyniku niekontrolowanego spalania w piecach węglowych, kotłowniach i na pryzmach odpadów zawierających w swym składzie chlor związany w formie organicznej lub nieorganicznej. Źródłem tych związków mogą również być pożary. Identyfikację zawartości dioksyn w glebie wykonano techniką chromatografii gazowej w sprzężeniu ze spektrometrią masową z podwójną fragmentacją badanej cząsteczki przy wykorzystaniu urządzeń typu MAT GCQ i GC-MS/MS [Grochowalski 2000]. Dioksyny oznaczano na unikatowej aparaturze w Laboratorium

Zespołu Analiz Śladowych Wydziału Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej. Poziom toksyczności analizowanych próbek wyrażony jako wartość standaryzowana TEQ, obliczono za pomocą tzw. współczynnika równoważnego toksyczności TEF na podstawie wyników analiz chemicznych zawartości masowej wszystkich kongenerów PCDDs i PCDFs posiadających atomy chloru w położeniach 2, 3, 7 i 8.

**Badania nośności dróg leśnych.** Celem badań było określenie wpływu poziomu lustra wody w podłożu gruntowym na nośność wybranych nawierzchni dróg leśnych.

Wykonano badania nośności dróg z nawierzchnią gruntową oraz twardą nieulepszoną z gruzu, żuźla oraz tłucznia melafirowego. Konstrukcje nawierzchni twardych nie ulepszonych posadowiono na warstwie odsączającej o miąższości 0,2 m. Wszystkie odcinki doświadczalne obrano na podłożu gruntowym bagiennym, a badania nośności wykonano przy ekstremalnych poziomach lustra wody gruntowej w podłożu. Nośność określono aparatem VSS stosując płytę naciskową o średnicy 0,30 m. Moduły odkształcenia obliczono przy pierwotnym i wtórnym obciążeniu. Obliczono również wskaźnik odkształcenia  $I_0$ .

## WYNIKI I Dyskusja

**Stosunki wodne.** Odpływ roczny z badanych terenów mokradłowych jest stosunkowo niewielki ok. 4% sumy opadów rocznych (tab. 1). Okresowo cieki zanikają – w latach hydrologicznych 2004/2005 i 2005/2006 odnotowano odpływ odpowiednio w ciągu 202 dni (15.11.2004–5.6.2005) oraz 192 dni (1.12.2005–10.6.2006). W okresie prowadzonych badań nie odnotowano typowych wezbrań, tzn. bazujących na spływie powierzchniowym, które w badanych mikrozelewniach przy opadach nawalnych powinny trwać najwyżej parę godzin. Obserwowane wezbrania – podwyższone odpływy deszczowo-roztopowe lub deszczowe zasilane były z odpływów: podpowierzchniowego i gruntowego.

Powyższe świadczy o stosunkowo bardzo dużych zdolnościach retencyjnych badanych terenów mokradłowych (drzewostan, ściółka, zagłębienia terenowe, gleby).

Przeciętne stany wód gruntowych (51 studzienek) zalegają dość płytko 97,5 cm p.p.t., przy odchyleniu standardowym 55,5 cm. Odpływy w ciekach występują, gdy stany wód gruntowych są wyższe niż w przybliżeniu ich wartości średnie roczne.

Dla modelowania obserwowanych epizodów opadowo-wezbraniowych zastosowano model Nasha – model konceptualny zlewni:  $N$  jednakowych, liniowych zbiorników o stałej czasowej  $T$  (Miler 1994). W modelach opad-odpływ bardzo ważne jest właściwe oszacowanie opadu efektywnego. W przypadku gdy opady efektywne dla poszczególnych wezbrań oblicza się na podstawie współczynników odpływów wezbraniowych, tzn. ilorazów wskaźników odpływu

wezbraniowego i sum opadów powodujących wezbrania, wyniki symulacji modelem Nasha są dla badanych mikrozelewni dość dobre. Przykładowy wynik symulacji dla zlewni rowu G-8 przedstawiono na rysunku 2.

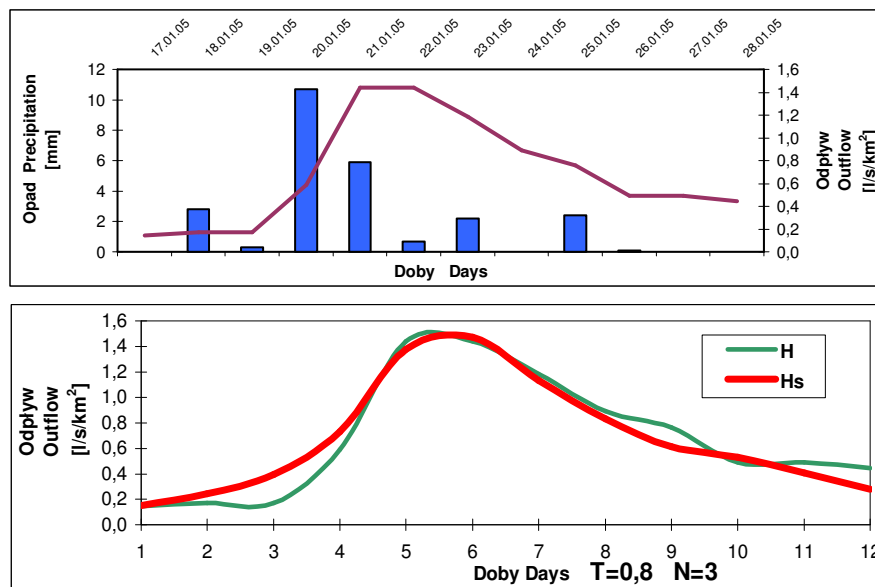
**Tabela 1.** Zrównoważony bilans wodny mokradel Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtałskie w roku hydrologicznym 2004/2005

**Table 1.** Equilibrium water balance of marshland of the Forest Promotional Complex "Lasy Rychtałskie" in hydrological year 2004/2005

Miesiące Months	Składnik bilansu wodnego Component of water balance [mm]			
	Opad Precipitation	Parowanie Evapotranspiration	Odpływ Out flow	Zmiana retencji Change of water storage
XI	77,5	10,7	0,5	+126,6
XII	22,9	11,3	0,5	+104,0
I	43,4	14,3	1,2	+51,0
II	8	13,9	2,2	+26,2
III	23,9	17,9	13,3	+5,8
IV	27,9	46,4	1,9	-15,0
V	93,3	78,8	0,8	-54,7
VI	33,7	80,5	0,0	-119,2
VII	58,0	90,0	0,0	-72,4
VIII	61,6	72,9	0,0	-36,4
IX	32,3	46,8	0,0	-25,8
X	8,2	25,5	0,0	+15,0
Rok	534,6	509,1	20,5	+5,0

Bazując na danych z Siemianic (1975–2006), obliczono trendy: średnich rocznych temperatur powietrza (+0,041 °C/rok) oraz sum rocznych opadów atmosferycznych (–1,573 mm/rok). Powyższe trendy są statystycznie istotne na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Dodatni trend temperatur powietrza będzie niewątpliwie stymulował wzrost ewapotranspiracji, która jednak zależy od wielu czynników m.in. od dostępności wody.

Zatem w prognozie zmian można przyjąć założenie, że ewapotranspiracja nie będzie ulegać istotnym zmianom. Odpływ z badanych terenów jest tak niewielki, iż można go w prognozie pominąć. Ostatecznie, prognozę zmian stosunków wodnych na badanych terenach mokradłowych, wyrażającą się zmianami stanów wód gruntowych, można oprzeć na ujemnym trendzie opadów atmosferycznych. Jeżeli przyjąć założenie, że istotne zmiany w ekosystemach mokradłowych będą zachodzić, gdy średni poziom wód gruntowych spadnie o ok. 50 cm (50% obecnego średniego stanu wód gruntowych) na skutek malejących sum rocznych opadów atmosferycznych, to można szacować, że nastąpi to po około 100 latach.



**Rysunek 2.** Przykładowy wynik modelowania wezbrania na obszarach mokradłowych LKP Lasy Rychtalskie (H – odpływ pomierzony, Hs – odpływ symulowany)  
**Figure 2.** Example result of storm flow modeling in marshlands on the Promotion Forest Complex “Lasy Rychtalskie” (H – measured outflow, Hs – simulated outflow)

Bowiem, przy przyjętych założeniach jak wyżej oraz porowatości gleb w warstwie wodonośnej 34%, po 100 latach malejące opady spowodują obniżenie stanów wód gruntowych średnio o 46,3 cm. Obliczenia powyższe oddają jedynie rząd wielkości co do okresu, po którym możliwe jest takie przesuszenie leśnych terenów mokradłowych, iż zmieniają one swój charakter, przestaną być siedliskami nadmiernie uwilgotnionymi.

**Modelowanie opadu efektywnego.** Modelowanie opadu efektywnego z wykorzystaniem zmodyfikowanego modelu SCS-CN zostało przeprowadzone na podstawie danych empirycznych zebranych ze zlewni leśnego mokradła (rów G-8) o powierzchni 32 ha, w roku hydrologicznym 2005. W okresie tego roku rozpatrywano epizody wezbraniowe oraz związane z nimi sumy opadów. Założenia modelowe spełniały wstępnie trzy epizody wezbraniowe, które zostały zakwalifikowane do przeprowadzenia procedury modelowania, tj. epizody z okresów 17.01–28.01.2005, 06.04–21.04.2005, 01.05–14.05.2005.

Przeprowadzono procedurę obliczenia wartości empirycznych parametru CN dla epizodów opadowych, uwzględniając wartości wilgotności początkowej zgodnie z faktyczną wilgotnością gruntu (przed wystąpieniem opadu wywołują-

cego odpływ wezbraniowy – AMC). Wyniki modelowania dla poszczególnych epizodów opadowych zestawiono w tabeli 2.

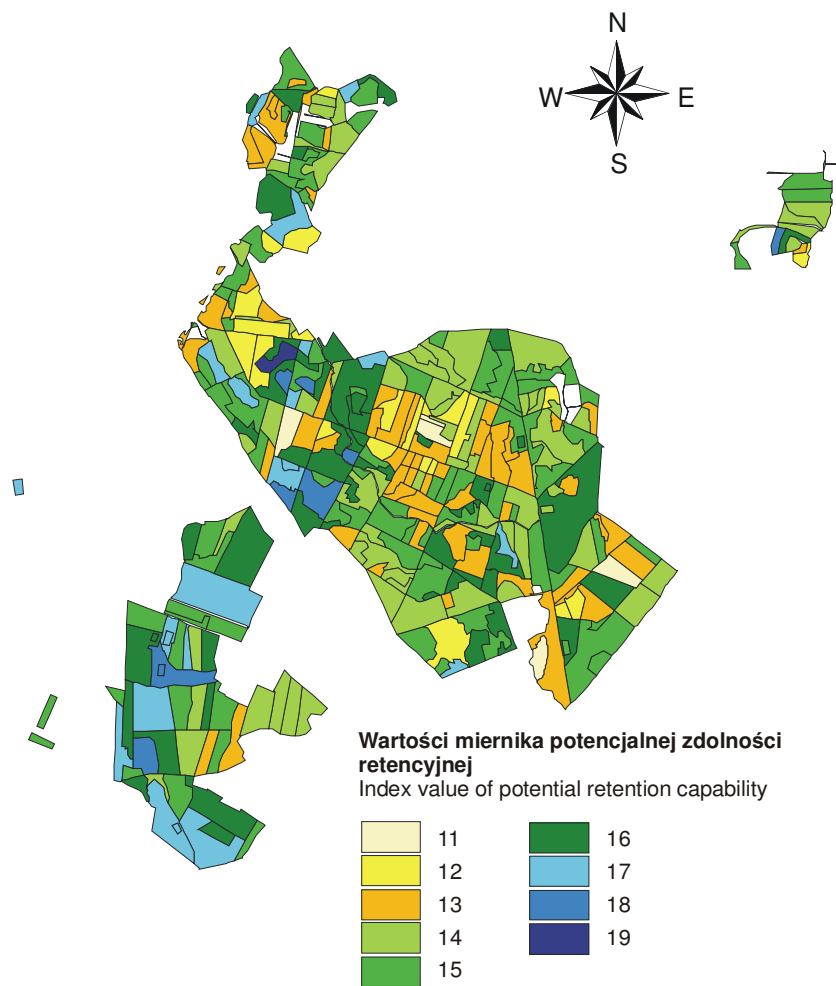
**Tabela 2.** Wyniki modelowania dla zlewni rowu G-8  
**Table 2.** Result of modeling for the catchment of ditch G-8

Okres epizodu opadowego Rainfall episode period	Okres opadowy Period	Poziom faktycznej wilgotności gruntu przed wystąpieniem opadu Actual antecedent moisture of soil before rainfall (AMC)	Przeciętna empiryczna wartość parametru CN dla zlewni Average empirical value of CN parameter for the catchment	Retencja maksymalna zlewni Maximum retention	Opad całkowity Total rainfall	Odpływ bezpośredni Direct runoff	Empiryczny współczynnik odpływu Empirical runoff coefficient	Odpływ bezpośredni wg modelu Direct runoff according to the model	Współczynnik odpływu wg modelu Runoff coefficient according to model
	$t$	AMC	CN	$S$	$P$	$Pe$	$a$	$Pe$	$A$
	[doby] [days]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[-]
17.01-28-01.2005	8	III	76,4	78	25,1	0,56	0,022	1,12	0,0446
06.04-21.04.2005	3	II	33,9	495	24,3	2,75	0,113	Warunek modelu niespełniony $P > 0,2 \cdot S$ Condition of the model $P > 0,2 \cdot S$	
01.05-14.05.2005	9	I	20,4	991	42,4	1,69	0,04		

Wyniki modelowania opadów efektywnych za pomocą modelu SCS-CN w wersji przystosowanej do warunków pokrycia zlewni można rozważać jedynie w kategoriach szacunkowych. Cechy zlewni rowu G-8 (teren mokradłowy) są niesprzyjające powstawaniu odpływu powierzchniowego i podpowierzchniowego. Zatem dla terenów mokradłowych model SCS-CN ma bardzo ograniczone zastosowanie.

**Potencjalne zdolności retencyjne w Leśnictwie Doświadczalnym Marianka.** Mapa obrazująca zmienność przestrzenną miernika potencjalnej zdolności retencyjnej terenów leśnych Leśnictwa Doświadczalnego Marianka prezentowana jest na rysunku 3. Analiza rozkładu miernika wskazuje, że charakteryzuje się on znaczną zmiennością przestrzenną. Mapa ta może być wykorzy-

Antoni Tadeusz Miler, Andrzej Czerniak, Sylwester Grajewski, Bogusław Kamiński, Bernard Okoński  
stana np. przy opracowywaniu planów zwiększenia retencji wodnej dla tego  
leśnictwa.



**Rysunek 3.** Rozkład miernika potencjalnej zdolności retencyjnej obszarów leśnych Leśnictwa Doświadczalnego Marianka

**Figure 3.** Spatial distribution of the index of the potential retention capability of the forest areas of the Forest Experimental Range "Marianka"

**Badania chemiczne.** W wyniku przeprowadzonych badań chemicznych wód i gleb mokradeł w Leśnictwie Mariak i Leśnictwie Doświadczalnym Ma-

rianka nie stwierdzono silnych procesów akumulacji zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego. Uzyskane wyniki badań porównano z odpowiednimi standardami jakości gleb (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. nr. 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.)) oraz z wartościami granicznymi wskaźników jakości wód powierzchniowych i podziemnych (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. (Dz.U. nr 32, poz. 283 i 284)).

Środowisko glebowo-wodne analizowanych obszarów mokradłowych pod względem chemicznym nie stanowi zagrożenia dla sąsiadujących kompleksów leśnych [Miler i in. 2006].

W przypadku gruntów stwierdzono, że z wyjątkiem kadmu, zawartość metali ciężkich nie przekraczała wartości przyjętych jako graniczne dla terenów najczystszych grupy A, tzn. obszarów objętych ochroną na podstawie przepisów o ochronie przyrody. Zawartość kadmu w kilku punktach badawczych nieznacznie przekracza wartości dopuszczalne kadmu określone dla terenów chronionych, ale nie przekraczała wartości dopuszczalnych dla terenów grupy B tzn. gruntów zaliczonych do użytków rolnych, gruntów leśnych oraz zadrzewień. Badane gleby cechowały się dużą zmiennością koncentracji żelaza.

Podwyższonej akumulacji metali ciężkich (poza żelazem) nie potwierdziły również przeprowadzone wstępne badania magnetometryczne. Przyjmuje się, że gleby niezanieczyszczone charakteryzują się naturalną podatnością magnetyczną (poniżej  $30 \times 10^{-5}$ ). Podatność magnetyczna w przedziale od  $30 \times 10^{-5}$  do  $50 \times 10^{-5}$  wskazuje na podwyższoną zawartość antropogenicznych ferrimagnetyków. Podatność magnetyczną od  $50 \times 10^{-5}$  do  $100 \times 10^{-5}$  uznaje się jako wysoką, a powyżej  $100 \times 10^{-5}$  jako bardzo wysoką. Średnia krajowa podatność magnetyczna dla gleb leśnych określona na podstawie Mapy Podatności Magnetycznej Gleb Polski wynosi  $22 \times 10^{-5}$ .

Badania powierzchniowej podatności magnetycznej gleb terenów mokradłowych wykazały podwyższoną koncentrację żelaza, natomiast mały udział innych ferrimagnetyków. Wartości  $\kappa$  zawierały się w przedziale od  $15 \times 10^{-5}$  do  $70 \times 10^{-5}$ . Rozkład ferrimagnetyków był skorelowany z rodzajem badanych gleb.

Badania rozkładu pionowego podatności magnetycznej wykazały, że maksymalne wartości  $\kappa$  na ogół nie przekraczały wartości  $50 \times 10^{-5}$ . We wszystkich punktach badawczych maksimum wartości  $\kappa$  odnotowywano na głębokości od 4,0 do 10,0 cm.

W wyniku przeprowadzonych analiz chemicznych sumaryczna zawartość kongenerów PCDDs i PCDFs w badanych próbkach glebowych nie przekroczyła wartości 8,0 ng PCDD/F-TEQ/kg. Dla porównania zawartość kongene-

rów PCDDs i PCDFs w glebie terenów użytkowanych rolniczo nie może przekroczyć 10 ng/kg, a w glebie terenów nieużytkowanych rolniczo 50 ng/kg.

**Badania nośności dróg.** Syntetyczne wyniki z badań nośności dróg leśnych na obszarach mokradłowych LKP Lasy Rychtałskie zestawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Moduły odkształcenia nawierzchni dróg leśnych przy ekstremalnych poziomach wód w podłożu drogowym

**Table 3.** Reformation modules of forest roads pavements for extremely groundwater depth levels in road subsoil

Lokalizacja i rodzaj nawierzchni Location and type of pavement	Obciążenie pierwotne $E_1$ i wtórne $E_2$ Primary $E_1$ and secondary $E_2$ pressure value	Moduły odkształcenia w MPa oraz $I_o = E_2/E_1$ Reformation modules in MPa and $I_o = E_2/E_1$			Termin badań oraz poziom wody gruntowej p.p.t. Terms of tests and groundwater level b.g.s.
		Zakres obciążeń jednostkowych w MPa Range of primary pressures in MPa			
		0,05 – 0,15	0,15 – 0,25	0,25 – 0,35	
Marianka – gruzowo-tłuczniowa broken trick/concrete broken stone	$E_1$	91,8	78,9	104,6	Sierpień /August 2005 183 cm
	$E_2$	83,3	107,1	125,0	
	$I_o$	0,91	1,36	1,19	
	Kwiecień /April 2006 73 cm	$E_1$	30,8	34,9	40,9
		$E_2$	51,7	62,5	72,6
		$I_o$	1,68	1,79	1,77
Marianka – gruntowa dirt road	$E_1$	12,3	8,9	4,0	Sierpień /August 2005 182 cm
	$E_2$	17,2	18,0	6,7	
	$I_o$	1,40	2,03	1,66	
	Kwiecień /April 2006 61 cm	$E_1$	5,9	6,7	2,1
		$E_2$	4,2	–	–
		$I_o$	0,71	–	–
Mariak – tłuczniowa z melafiru melafire broken stone	$E_1$	46,4	43,7	31,5	Sierpień /August 2005 38 cm
	$E_2$	48,9	70,3	80,4	
	$I_o$	1,05	1,61	2,55	
	Kwiecień /April 2006 33 cm	$E_1$	24,9	30,6	36,0
		$E_2$	54,2	69,2	73,8
		$I_o$	2,18	2,26	2,05
Mariak – żużłowa ślag	$E_1$	84,9	67,2	54,9	Sierpień /August 2005 45 cm
	$E_2$	84,9	100,0	166,7	
	$I_o$	1,00	1,49	3,04	
	Kwiecień /April 2006 33 cm	$E_1$	48,9	54,2	43,7
		$E_2$	69,2	70,3	67,2
		$I_o$	1,41	1,30	1,54

Spośród czterech badanych dróg leśnych na podłożu bagiennym najlepszą okazała się nawierzchnia z gruntu wzmocnionego tłucznem.

Nawierzchnia ta spełniła kryteria nośności dla dróg leśnych przy obciążeniu ruchem KR – 1  $E_1 > 100$  MPa. Należy jednak stwierdzić, że nośność tą



( $E_t = 104,6$  MPa) osiągnęła w warunkach suchych, gdy poziom wód gruntowych obniżył się do głębokości poniżej 180 cm.

Ta sama nawierzchnia przy ekstremalnym podwyższeniu lustra wody gruntowej o 110 cm utraciła około 60 % nośności.

W leśnictwie Mariak odcinki dróg z nawierzchnią żuźlową zlokalizowane były na terenach, w których wody gruntowe w ciągu całego roku zalegały płytko (33 do 45 cm p.p.t.).

W tych warunkach obydwie nawierzchnie osiągnęły nośność spełniającą kryteria na pograniczu podbudowy drogowej i ulepszanego podłoża. Podwyższenie nośności można osiągnąć poprzez obniżenie poziomu wody gruntowej w obrębie korpusu drogowego. Zmiany te jednocześnie obniżą poziom wody w sąsiadującym drzewostanie, co zmniejszy obszar chronionych bagien. Stąd poprawy nośności dróg na obszarach zabagnionych należy szukać w różnego rodzaju wzmocnieniach konstrukcji nawierzchni oraz podłoża drogowego. Dobre rezultaty w tym zakresie można uzyskać poprzez zastosowanie w budowie nawierzchni geosyntetyków [Kamiński, Czerniak 2003; Czerniak, Kamiński 2003].

#### **PODSUMOWANIE I WNIOSKI**

Odptyw roczny z badanych terenów mokradłowych jest stosunkowo niewielki ok. 4% sumy opadów rocznych. Cieki odprowadzają wodę okresowo, głównie w półroczu zimowym. Nie odnotowano typowych wezbrań, a jedynie podwyższone odpływy deszczowo-roztopowe lub deszczowe o zasilaniu podpowierzchniowym i gruntowym. Modelowanie odpływu z tych terenów, w szczególności odpływu wezbraniowego, jest poważnie ograniczone trudnościami w oszacowaniu opadu efektywnego.

Ekosystemy mokradłowe w LKP Lasy Rychtaleskie są zagrożone w stosunkowo nieodległej przyszłości deficytem wody. Szacunkowo można przyjąć, iż po ok. 100 latach nastąpi przesuszenie leśnych siedlisk obecnie ocenianych jako mokradłowe.

Przeprowadzone badania chemiczne nie wykazały nadmiernej kumulacji zanieczyszczeń chemicznych w glebie oraz w wodach powierzchniowych i gruntowych LKP Lasy Rychtaleskie.

Drogi z nawierzchnią gruntową na podłożu bagiennym w okresie całego roku nie spełniały warunków nośności stawianych drogom leśnym. Nośność nawierzchni twardych nie ulepszonych zależała od poziomu lustra wód gruntowych w podłożu.

## BIBLIOGRAFIA

- Czerniak A., Kamiński B. *Przydatność geokraty do budowy dróg leśnych*. PTPN, Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych, Prace Komisji Nauk Rolniczych i Leśnych. Tom 94. s. 41–48, 2003.
- Grajewski S. *Stosunki wodne oraz zdolność retencyjna obszarów leśnych Parku Krajobrazowego Puszcza Zielonka*. Wyd. AR w Poznaniu. Seria Rozprawy. Nauk. nr 382. (w druku), 2006.
- Grochowalski A. *Badania nad oznaczaniem polichlorowanych dibenzodioksyn, dibenzofuranów i bifenyli*. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, Monografia 272, Kraków 2000.
- Kamiński B., Czerniak A. *Zastosowanie geokraty komórkowej do wzmocnienia gruntowej drogi leśnej na podłożu spoiwym*. Wydawnictwo AR w Poznaniu, s. 478–486, 2003.
- Miler A. *Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych*. Rocz. AR, Rozpr. Nauk. z. 258, Poznań 1994.
- Miler A. T., Grajewski S., Okoński B. *Stosunki wodne w wybranych ekosystemach Puszczy Zielonka*. Monografia. Wyd. AR Poznań. 2001.
- Miler A. T., Kamiński B., Krysztofiak A., Sobalak M. *Inwentaryzacja obszarów mokradłowych na terenie Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Rychtałskie oraz wstępne wyniki badań hydrologicznych*. Infrastruktura i Ekologia Obszarów Wiejskich, PAN Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi 4, 2005, s. 85–98.
- Miler A. T., Kamiński B., Czerniak A., Grajewski S., Okoński B., Stasik R., Krysztofiak A., Sobalak M., Poszyler-Adamska A., Przysiecka K., Kamiński M. *Opracowanie strategii ochrony obszarów mokradłowych na terenie leśnych kompleksów promocyjnych na przykładzie LKP Lasy Rychtałskie*. Sprawozdanie etapowe. Nr zadania 18. Dla Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych (maszynopis 50 str.), 2006.
- Mishra S. K., Singh V. P. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2003.
- Okoński B. *Modelowanie odpływu bezpośredniego w zależności od stanów pokrycia zlewni leśnej*. Seria Rozpr. Nauk. Zesz., 374, Wyd. AR, Poznań. (w druku), 2006.
- Strzyszczyk Z., Magiera T. *Ocena zanieczyszczenia gleb leśnych na podstawie podatności magnetycznej na przykładzie nadleśnictwa Katowice*. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, A: 961, s. 19–30, 2003.
- Trampl T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. *Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych*. Wyd. UAM Poznań, 1990.
- USDA-NRCS National Engineering Handbook *Hydrology*, Section 4, US Dept. of Agriculture, National Resources Conservation Service, Washington D.C. 1985.

Prof. dr hab. inż. Antoni T. Miler  
Dr hab. inż. Andrzej Czerniak  
Dr inż. Sylwester Grajewski  
Prof. nadzw. dr hab. inż. Bogusław Kamiński  
Dr inż. Bernard Okoński  
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu  
Katedra Inżynierii Leśnej  
60-623 Poznań, ul. Mazowiecka 41  
Tel./Fax 0618487366, E-mail amiler@au.poznan.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Węglarczyk